



运动对时距知觉的影响及其神经机制*

郑玮琦** 张亦晨 马佳欣 赵 晗 任子媛 张 禹**

(北京体育大学心理学院, 北京 100084)

摘要 在运动过程中, 时距知觉的能力非常重要, 能帮助个体对时长进行判断及对事件的发生做出预测和准备。近年来, 越来越多的研究发现运动本身会直接影响个体的时距知觉。本文分别从运动参数、运动阶段、视觉运动刺激和运动有关的个体因素四个方面梳理了运动对时距知觉产生影响的行为学证据。目前已经有大量研究从不同角度证明, 大脑运动系统组成了支持主观时间知觉的神经网络, 并且编码和参与了人类的时距知觉。运动作用于时距知觉的理论机制可以基于内部时钟模型的理论框架并进而从感觉运动信息的交互、运动对唤醒状态的改变及具身认知理论三个角度予以解释。未来研究需关注运动对不同单位级别时距知觉的影响, 测评运动状态下时距知觉的研究范式及技术手段等多个方面进行思考和推进, 从而更好地揭示运动如何调节时距知觉过程及其作用机制。还应该结合竞技运动项目特点, 为减少运动中时距知觉误差和提高运动员时距知觉能力提供帮助与指导。

关键词 身体动作, 运动刺激, 时距知觉, 运动系统, 神经机制

中图分类号 B84, R338

DOI: 10.16476/j.pibb.2020.0319

主观时间知觉是人类重要的生存能力, 主要包括对时间顺序的判断、对时间流逝的感知、对时距的估计及对事件发生时间的预测和准备^[1]。在个体身体运动过程中, 为了更好地与他人和外界环境进行动态交互, 对时间的准确估计与预测显得非常重要^[2]。尤其是在竞技运动中, 运动员需要具备精确和稳定地对时距编码与加工的能力, 例如, 要准确及时地握住飞来的棒球、精准地完成乒乓球正手抽球、正确地预测他人的投球时机等^[3]。

目前, 越来越多的研究发现, 运动本身会直接影响时距知觉的准确性, 即运动状态相比于静止状态可能会带来时距知觉的扩张或压缩, 或者影响时间预判的准确性与稳定性等^[4-5]。关于运动究竟会对时距知觉带来扩张还是压缩效应, 对时距估计的精确性是否会提高或削弱等问题, 以往研究仍然存在争议, 研究结果也不一致^[6-7]。这主要是因为运动包括速度、时长、方向、强度等诸多参数^[8-11],

也包含运动准备、执行等不同运动阶段^[12], 不同类型视觉运动刺激^[13]以及伴随运动过程的个体因素^[3-4]影响, 而这些不同的因素还会交织在一起共同影响时距知觉的过程。因此, 本文将从上述四个方面对运动如何影响时距知觉(图1)进行系统的总结与归纳, 以便更好地揭示运动究竟以何种方式影响时距知觉, 并进一步阐释运动系统参与时距知觉的神经机制以及运动影响时距知觉的理论解释等方面的内容, 为后续研究提供更加全面的理论基础, 并借此对这一领域的研究进行总结和展望。

* 教育部人文社会科学研究青年基金(20YJC890049)、中央高校基本科研业务费专项资金(2019QD012)资助项目。

** 通讯联系人。

郑玮琦. Tel: 13261725159, E-mail: zhengweiqi@bsu.edu.cn

张禹. Tel: 13520059273, E-mail: btzy1973@126.com

收稿日期: 2020-09-02, 接受日期: 2020-12-29



Fig. 1 Graphic depiction showing four movement-related aspects which influence duration perception

图1 与运动相关的不同方面对时距知觉的影响图示

1 不同运动参数对时距知觉的影响

前人的研究主要是通过操控运动的不同参数,例如运动速度和时长、运动方向、运动强度等,来观测时距知觉是否会受到影响。

1.1 运动速度

近年来有部分研究发现,手或手臂的运动会对视觉刺激产生时距扭曲,且时距扭曲的方向和大小会受到运动速度的调制。例如,在Yokosaka等^[10]的研究中,被试的手部运动速度被分为快、中、慢、无四个水平,所有被试都需要完成四个水平的手部运动,在标准刺激阶段,两个视觉刺激间隔固定,与此同时,被试完成手部画圈运动。在测试阶段,被试停止手部运动,两个视觉刺激间隔是变化的,最后要求被试比较标准和测试阶段刺激间隔的长短。结果发现,相比于较慢的手部运动,更快速的手部运动会导致时距知觉压缩。由于眼动对视知觉,包括对视觉刺激时距知觉的影响已经得到广泛讨论与证实,并解释了“停表错觉”(chronostasis illusion,经典时间错觉之一,常发生于快速扫视时)等常见生活现象^[14],因此该研究在补充实验中加入了对被试眼动幅度的观测,发现在眼动幅度很小的被试中也发现了上述现象,即排除了眼动对时距知觉的影响。

1.2 运动时长

运动时长被证实与感受到的刺激长短成正相关,更长的运动时间通常与更长的时距知觉有关联^[15]。例如,在Yon等^[11]的研究中,被试一边执行食指按键动作,一边判断同时发出声音刺激的长短,实验结果发现食指按键动作的持续时间越长,所感觉到声音刺激的持续时间也会越长,出现时距扩张效应。为排除外显的文字提示对实验结果的影响,研究者还补充了实验,要求被试触碰屏幕上的蓝色圆圈,手的起始位置离屏幕的远近决定了运动时间长短,在这种没有文字提示的条件下依然发现运动时间越长,感觉到的声音刺激时间越长。尽管运动和声音刺激来自于不同模态信息,但跨模态的整合过程可能使得运动时长对感受到听觉刺激的长短产生影响。

1.3 运动方向

有研究揭示了不同运动方向对时距知觉的影响。在Tomassini和Morrone^[9]的研究中,设置了两种手部运动的方式,一种是实际的手部朝左或朝右运动,另一种是用特殊装置固定的手部等长收缩(即手部虽然有肌肉收缩,但由于受到模型的固定,不会产生实际的运动位移,只形成朝左或朝右的准备运动),被试完成运动或肌肉收缩后,需要判断两段视觉闪烁刺激的时间间隔。结果发现无论是在实际运动条件下还是在等长收缩条件下,被试的时

距知觉结果模式是相似的, 即当被试运动或准备运动的方向朝右时, 会出现时距扩张效应, 而当被试运动或准备运动的方向朝左时, 会出现时距压缩效应. 肌肉收缩条件下没有发生实际的运动, 故排除了实际运动带来的空间位置改变对时距知觉影响的可能性. 因此导致不同运动方向对时距知觉产生影响更可能是由于运动引起的注意方向的改变. 注意方向使得时间与空间的知觉产生了映射与联结, 当注意左侧空间时会存在时距低估, 而注意右侧空间时会出现时距高估^[16]. 该结论也验证了前人研究中提出的时间-空间编码的一致性^[17].

1.4 运动强度

运动或锻炼的强度也会对时距知觉产生影响^[18]. Edwards 和 McCormick^[8]的研究首次探究了不同运动强度中的时距知觉扭曲现象, 研究中被试需要完成两种类型的运动, Wingate 间歇训练法(短时无氧运动, 持续时间 30 s) 和划船器训练(有氧运动, 持续时间 20 min). 根据自我运动感觉强度表, 将运动强度分为低强度、中等强度和高强度三种条件. 实验中的时距知觉任务是要求被试对锻炼时距的 25%、50%、75% 和 100% 时长进行估计. 实验结果发现, 对于两种运动方式, 相比于低强度, 在高强度运动条件下, 被试会在主观上感觉到时距扩张, 即认为时间过得更慢了. 这种高强度运动状态下的时距低估究竟是由于生理唤醒水平的提高还是高强度运动引发的身体不适感尚需要通过更多研究验证与讨论.

2 不同运动阶段对时距知觉的影响

运动造成的时距扭曲不仅会发生在运动过程中, 也可能发生在运动准备阶段. 并且在不同运动阶段, 时距知觉受到的影响也不尽相同^[12].

2.1 运动准备阶段

在运动准备阶段, 个体可能会感觉视觉刺激呈现时间变长. 例如, 在 Hagura 等^[15]的研究中, 相比于控制组, 当参与者被要求在目标刺激呈现时做出要接近刺激的准备动作时, 被试对目标刺激呈现时长的判断会出现扩张效应. 原因可能是, 运动准备使个体感受到更慢的刺激闪烁频率, 增强对快速呈现刺激的觉察能力, 即提高了视知觉的时间分辨率. 从进化的角度而言, 当在需要急剧变化的环境中做出快速动作计划时, 时距扩张的机制能帮助大脑获取更多的感觉信息来适应动作执行, 并能更好地获取和储存感觉信息, 让人们在动作实施前有更

多的机会去改变或停止计划好的动作^[19]. 但当知觉的刺激类型不一样时, 运动准备带来的时距扩张效应并不稳定. 在 Iwasaki 等^[6]的研究中, 只有当被试在运动准备阶段比较单个连续的探测刺激时距和标准刺激时距时, 才会觉得探测刺激呈现时间更长. 而当被试估计两次闪光之间的刺激间隔时, 则没有表现出时距扩张效应. 可能原因是, 运动准备能增强视觉皮层对视觉刺激的神经反应, 因此感觉信息的增强会使得感受到的时距变长^[20], 但在闪光刺激间隔时, 由于没有较强的视觉刺激, 所以不会出现时距扩张效应. 该研究结果也揭示了运动准备带来的时距扩张是一种有选择性、有策略性的机制, 能尽量确保时距扭曲现象只存在于目标刺激呈现时, 使大脑对感觉信息的加工达到最大化, 同时在没有目标刺激时扩张效应消失, 尽量减小时距知觉的错误.

2.2 运动执行阶段

在运动执行阶段, 如果运动和连续振动的触觉刺激或连续的视觉刺激同步进行, 那么就会出现时距扩张效应. 例如, 在上一段综述中关于运动时长对时距知觉影响的研究中, 同时进行的运动会对连续视觉刺激本身的时距在整体上产生扩张效应^[11]. 但如果是对刺激之间的间隔时距进行估计, 则可能会发生时距压缩. 例如, Tomassini 等^[7]的研究中发现, 当被试在判断两个触觉刺激之间的间隔时距时, 同时进行的手部运动会产生时距压缩效应的产生. 这种时距压缩效应可能是为了补偿刺激呈现阶段的时距扩张效应, 以弥补最终整体时长的客观与准确. 这和上文中提到的运动准备阶段有选择性的时距扩张效应都体现了运动对时距知觉影响的适应性与策略性.

3 不同类型视觉运动刺激对时距知觉的影响

除了实际身体运动对时距知觉产生的影响外, 个体还会从视觉通道接触大量的运动信息, 例如观看运动比赛、欣赏舞蹈等. 目前已有一系列研究考察了带有运动信息不同类型视觉刺激如何影响人们的时距知觉.

3.1 动态刺激

针对带有运动信息、且不包含生物运动特征的一般刺激, 研究发现, 当呈现相同时长的简单刺激物时, 相比于运动较慢或完全静止的刺激物, 运动速度较快的刺激物会使人们觉得它的呈现时间更

长, 即造成时距扩张的现象^[21-22]。这可能是源于人类长期适应自然进化而来的结果, 因为时距扩张可以使时间分辨率提高, 个体能在单位时间内加工更深层的信息, 从而更易预期事件和动作的发生^[23]。

相比于非生物刺激, 人类对于带有生物信息的刺激会更加敏感, 并能快速理解其运动意图^[24]。因此, 了解生物运动信息是否及如何影响时距知觉对人类的生存也至关重要。生物运动 (biological motion) 指的是生物体 (人类和动物) 在空间上的整体性移动行为, 如步行、奔跑等。在心理学研究中, 光点运动序列经常被用来作为研究生物运动知觉的有效工具^[25], 亦有研究借助该范式探索时距知觉扭曲。如, 采用光点序列作为刺激材料的时距辨别任务发现, 呈现正立竖直的光点运动序列相比于相等时长的倒置光点运动序列, 将会造成时距扩张效应, 将完整的生物运动光点打散后, 正立竖直的光点运动序列相比倒置序列仍然能造成相似的时距扩张效应, 而当光点运动序列的生物运动特征被扰乱后, 时距扩张现象则完全消失^[13]。该现象表明, 生物运动信息能特异性地产生时距知觉扩张效应, 这种特性能帮助人们在社会互动中对即将进行的事件做好更充分准备。

值得注意的是, 以往大部分研究关注的是与动作情境高度相关的时距知觉任务, 即时距知觉的任务刺激可能是动作本身的时长 (如上述生物运动刺激)。然而, 任务刺激和运动本身无关联的情况也值得深入探究, 因为运动和任务的关联程度可能会对时距知觉产生不同的影响。有研究发现, 当要求被试判断触觉震动刺激的时距时, 观看可抓握的摆动小球相比静止的小球, 时距判断会更长^[26]。这意味着即使是和目标刺激无关的运动也能对时距知觉产生一定的影响, 可能是因为观看运动刺激所产生的感知觉信息和动作准备产生了联结, 导致了和与刺激有关的运动准备带来的时距扭曲效应。其结果可根据注意门控理论 (attentional-gate theory) 解释, 即将注意资源分配到非计时任务时, 会使时间加工的时钟阶段 (clock stage) 短暂停止, 从而低估即将呈现的时距刺激^[27-28]。

3.2 暗示性动作图片

尽管没有产生真实的空间运动, 描绘动作的图画也能传达一定的运动信息, 并且类似于真实运动, 能激活大脑运动区。例如, 包含某一方向暗示性动作的图片会形成反方向的运动后效, 能够像真实运动过程一样激活方向选择性的神经元^[29]。那

么, 暗示性动作图片是否也能类似于真实运动, 对时距知觉产生影响呢? 已有研究的结论不完全一致。Moscatelli 等^[30] 在研究中比较了包含运动员 (运动项目包括武术、滑冰、足球、跳水、排球、橄榄球) 暗示性动作的图片和不包含运动员暗示性动作的图片, 结果仅发现被试对暗示性动作图片的时距知觉准确性高于不包含暗示性动作的图片, 并未发现知觉时距长短的差异。但后续的一些研究均发现了对隐含暗示性动作的身体姿势图片的时距判断长于不包含暗示性动作的图片^[31-32]。相比于 Moscatelli 等^[30] 的研究中直接采用运动员在比赛中的照片作为刺激材料, Nather 等^[31] 和 Yamamoto 等^[32] 选用的则是芭蕾舞雕塑的图片或用软件绘制的卡通人物图片, 排除了更多其他视觉信息的干扰, 更大程度保留了动作本身的信息。Yamamoto 等^[32] 的研究发现, 当呈现的卡通人物是跑步状态时, 相比于站立条件, 被试感受到的时距会更长。Nather 等^[31] 的研究还进一步对不同芭蕾舞雕塑图片所包含的运动幅度大小进行了量化, 发现更大的运动幅度会导致更长的时距估计。因此以上这些结果差异可能来源于不同研究采用的刺激图片中所包含的运动信息相对大小的差异。

4 运动有关的个体因素对时距知觉的影响

一些和动作、运动有关的个体因素会和上述运动参数一同或单独影响运动中的时距知觉, 例如个体的主动控制感 (sense of agency) 和长期运动经验。

4.1 主动控制感

主动控制感是在主动动作过程中产生的控制自身动作, 进而控制外界事物和环境的一种主观感觉^[33]。以往研究发现, 个体的主动控制感越强, 越容易出现时距扩张效应。在 Imaizumi 和 Asai^[4] 的研究中, 要求被试在进行手部运动的同时, 观看有多种延迟时间的被试自己手部运动的反馈视频, 以操纵其主动控制感, 并要求被试判断反馈视频的时长。研究结果表明, 在复杂的手部自主运动过程中, 被试的主动运动与反馈视频间的延迟越小, 其主动控制感越强, 感知到的时间也越长, 相反, 被试的主动运动与反馈视频间延迟越大, 被试的主动控制感越弱, 感知到的时间越短。时距扩张有利于个体加工更多视觉信息并为后面的动作做好准备, 因此当个体对动作有强烈的控制感时会出现时距扩张的现象。

4.2 长期运动经验

长期运动经验也是影响时距知觉的重要因素。在体育运动中正确地评估时间对运动员来讲尤为重要。Chen 和 Cesari^[3]以精英运动员和非运动员作为被试,探究运动经验对时距知觉的影响,以100 ms为间隔,采用了从300 ms到1 800 ms的16种不同时间间隔为实验刺激,要求被试通过按键再现屏幕上闪现刺激的持续时间。实验结果表明,有长期运动经验的精英运动员的再现成绩更好,即拥有更强的时距评估能力,长期的运动经验能提高或改善时距知觉的准确性。

以往研究发现,在提高时距知觉的准确性方面,当某一个感觉通道的时距知觉改变时,同时进行的运动能帮助人们消除时距知觉中的偏差^[34]。长期运动经验也能减小时距知觉偏差,但这种优势并不是等量分布到各个感觉通道,相比于视觉通道,运动经验更能增强听觉通道在加工时间信息时的有效性^[35]。在Murgia等^[35]的研究中,长期表演踢踏舞的专家和没有任何练习经验的普通大学生共同参与了踢踏舞序列时距知觉的实验,研究人员将实验材料分成了由音频播放的听觉刺激和由视频播放的视觉刺激。结果发现听觉通道的时距知觉偏差更小,专家的时距知觉准确性有显著优势,进一步的分析表明长期运动经验带来的专家优势主要体现在听觉通道的时距知觉。

此外,近年来还有研究发现长期的专项运动训练会使运动员在加工专项运动的图片时高估刺激呈现时长^[36]。这可能是因为长期专项训练增强了运动员的知觉、注意和记忆能力,因此能提高运动员处理和专项运动有关信息的效率和容量,导致时距知觉的扩张效应。

5 运动系统参与时距知觉的神经机制

上文综述了实际运动或运动刺激对时距知觉产生影响的行为学证据。从其潜在的神经机制角度而言,目前已经有大量研究从不同角度证明运动系统组成了支持主观时间知觉的神经网络^[12]。对时间信息自动加工的研究也发现,自动计时系统与运动系统关系紧密,均包含辅助运动区、基底神经节和小脑^[37](图2)。

5.1 辅助运动区

辅助运动区(supplementary motor area, SMA)与大脑额下回相连,作为运动系统的一部分,与运动控制,尤其是反应抑制有关。近年来,

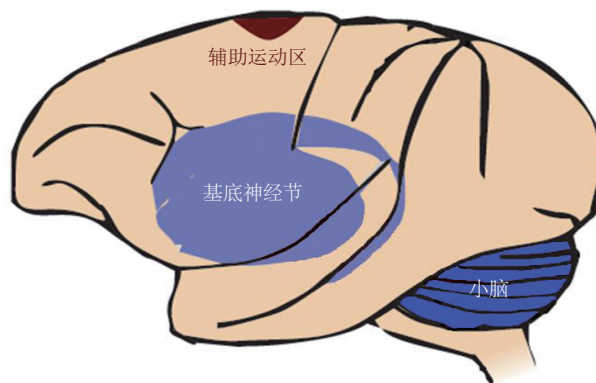


Fig. 2 Neural overlaps shared by timing mechanism and motor system

图2 参与时距知觉的运动系统相关脑区

越来越多的研究发现,SMA也是皮质-丘脑-基底神经节计时环路(cortico-thalamic-basal ganglia timing circuit, CTBGc)中的重要节点^[12]。脑成像证据表明,SMA参与主观时间知觉的编码^[38]。具体而言,动物或人类脑影像研究均发现SMA脑区的激活从刺激呈现开始,随时间流逝逐渐增强,且激活幅度与时距长短有正相关。知觉到的时距越长,SMA脑区激活程度越高^[19]。因而,SMA脑区亦被称为“时间累计器(temporal accumulator)”。

此外,脑电实验也发现与SMA神经活动有关的脑电活动与时距知觉有关^[39]。例如,关联负变化(contingent negative variation, CNV)作为位于大脑中央前区的负向慢电位,被认为是与时距知觉过程有关的事件相关电位(ERP)成分,是大脑中时距知觉的标志之一^[40-41]。通过分析发现,SMA脑区可能是CNV成分的主要脑内源^[42]。Pouthas等^[43]的研究发现,CNV的时间进程与探测刺激的时距有关,CNV的潜伏期随着探测刺激时距的增加而延长,CNV的波峰也随着探测刺激时距的增加而延长,至目标刺激时距时达到最大。

从和运动系统激活有关的神经节律来看,大脑beta节律(15~30 Hz)作为运动在大脑皮层反应的标志物^[44],与时距知觉之间也存在紧密联系^[45]。Wiener等^[45]在研究中采用了经颅交流电刺激(transcranial alternating current stimulation, tACS)的方法在SMA给予被试非侵入的脑刺激,刺激频率为beta节律和alpha节律,并要求被试完成亚秒级视觉时间二分任务,即被试需要将视觉刺激时距分成“短”和“长”两类,结果发现,相比于施加

alpha 刺激, 当施加 beta 节律电刺激时, 被试的时间二分点 (bisection point, BP) 有明显的偏移, 即被试更倾向于将视觉刺激时距归为“长”这一类。实验结果发现了 beta 节律在时距记忆中的编码与保存作用, 并会影响对后续时距的知觉。这些研究结果补充论证了时距知觉和运动之间存在的内在关联。此外, beta 节律在时距知觉中起到超模态 (supramodal) 的作用, 在不同任务要求, 不同模态刺激条件下有相似的模式^[46]。

5.2 基底神经节和小脑

基底神经节和小脑都是运动控制系统的组成部分, 参与运动执行与协调^[37]。已有研究表明, 基底神经节和小脑为运动计时提供了精确的表征^[47]。通过同步脑电-功能磁共振成像的研究发现, 反映时距知觉的 CNV 成分的波幅变化和基底神经节、小脑都存在紧密联系^[48]。

基底神经节和小脑在时距加工中的作用有更专门化的区分^[49]。从不同单位级的时距加工角度看, 以往研究认为, 小脑主要参与亚秒时距加工, 基底神经节主要参与秒级时距加工^[50]。在猴子完成自定时扫视任务中, 测量其小脑齿状核神经元活动, 发现小脑参与运动计时的范围实际上涵盖亚秒到秒, 但在亚秒加工中的贡献更大^[51]。Kunimatsu 等^[52]在猴子自定时的扫视任务中还发现, 基底神经节主要参与流逝时间的时距加工, 而不是预期时距的加工, 而小脑主要参与自主计时的精确调整。该团队通过动物实验还发现基底神经节的纹状体神经元参与周期性的反应准备, 小脑神经元主要参与周期性事件的时间预期^[53]。此外, Narain 等^[54]的研究根据心理物理法和神经生理实验的证据, 通过建立计算模型, 发现小脑在进行时距加工时会学习先验的时距信息知识, 即支持贝叶斯时距估计的加工方式。

综上, 运动对时距知觉的影响可能源自于运动系统直接参与和编码了时距知觉的加工, 执行动作或观看运动刺激会激活大脑运动系统, 进而影响时距知觉。但关于包括小脑、基底神经节、SMA 脑区在内的运动系统在时距知觉准确性和稳定性等方面的具体功能和作用, 还有待于更多研究来探索和证实。

6 运动影响时距知觉的理论解释

内部时钟模型 (internal clock model), 亦称起搏器-累加器模型 (pacemaker-accumulator model),

目前被广泛用于阐释时距知觉。该模型假设起搏器与累加器共同组成内部时钟, 后者对前者发放的神经脉冲 (impulse) 进行收集, 当开始注意时间时, 由注意调控的开关即闭合, 使得起搏器发放的时钟脉冲可以抵达累加器。而在工作记忆中累加并得到表征的脉冲越多, 所感受到的时距也就越长^[1]。本文将基于上述理论框架, 从感觉运动信息的交互、运动对唤醒状态的改变及具身认知三个角度对运动作用于时距知觉的理论机制予以解释^[26]。

较早的解释认为, 运动和感觉信息会产生交互作用, 影响时距知觉。人们会根据预期结果执行某一动作, 而当完成该动作后, 感觉信息的反馈可作为后续动作调整的基础。感觉输入信号对时距知觉的影响往往体现出数量效应 (magnitude effect), 即人们倾向将有着相对较大响度、亮度、质量、振幅、大小等属性的刺激物对应于更长的时距^[55]。而运动可能会对外界感觉输入产生干扰, 造成感觉输入信息的特征改变, 影响注意调控开关闭合或脉冲发放的速率等, 因而影响时距知觉^[56]。譬如上文中综述的运动速度对时距知觉的影响^[10], 实验中手臂运动速度越快, 可能使得被试对视觉刺激的注意越少, 从而影响脉冲发放速率, 导致时距估计越短。

第二种可能的解释是运动可以改变个体的生理唤醒状态, 根据起搏器-累加器模型, 唤醒程度的降低会导致起搏器脉冲发放频率的降低, 进而导致对时距的主观压缩, 反之, 高唤醒水平则意味着内部时钟的高速运转, 往往带来对时距的高估。身体动作或运动情境可以直接激发生理唤醒, 加速脉冲累计频率或缩短注意调控门控开关的速度, 导致时距的扩张^[31]。

近年来, 在关于运动和感觉信息交互作用影响时间知觉的理论基础上, 相关领域学者也开始采用具身认知理论视角研究时间知觉的有关问题^[57-58]。该理论认为时间知觉不是纯粹的知觉现象, 还需要充分考虑知觉-动作环路, 以及外界刺激对动作的影响, 而这正是具身认知理论的核心思想所在。根据具身认知理论的观点, 主观时距知觉不仅基于对外部事件的感觉编码, 还依赖于加工过程中内部感觉运动状态^[59]。因此, 当进行运动准备或运动时就可能加快感觉加工速度, 进而在知觉-动作环路中导致主观时距扩张效应。需要说明的是, 上述提到的生理唤醒理论和具身认知理论也并不互斥, 两者都强调了情感系统在时间知觉中的作用, 而具身

认知理论更强调身体状态的一般影响和感觉运动系统的激活。

7 未来研究展望

7.1 运动对不同单位级别时距知觉的影响

在不同的运动项目中,任务所需时间不尽相同。例如,从远处飞来的足球在空中的时间往往超过几秒,而击剑运动员的致命一击可能只有短短几百毫秒。因此,处理不同的任务涉及的时间单位级会存在差异。以往研究发现,在运动状态下,人们对亚秒和秒级时距知觉存在差异。例如,同样将骑行运动作为生理唤醒手段,Vercruyssen等^[60]通过时间量生成范式验证了运动时对秒级时距的主观缩短;Lambourne^[61]则通过时间二分法证明了被试在运动时对亚秒时距的高估倾向。这可能是因为加工亚秒和秒级时距所涉及的脑区存在差异:脑成像研究表明亚秒时距加工主要激活双侧小脑前叶,而秒级时距加工主要激活右侧顶下小叶^[62]。

然而,在现有的研究中,不同单位级的时距常常被混在一起进行实验设计,实验结果可能也存在混淆的情况。因此,在未来研究中,可以将不同单位级的时距加以区分和比较,尝试系统探讨运动对不同单位级时距知觉带来影响的差异及其认知神经机制。

7.2 时距知觉研究范式的比较

由于不同时距知觉范式的任务要求差异,不同实验范式^[63]的实验结果可能不同^[64]。或许可以通过对比,发现这些范式所涉及的心理过程和成分的差异或侧重^[65]。例如,在同样的时距复制任务中,将实验操纵分别作用于标准时距和复制时距:如果仅在前一种情况下出现了运动效应,则对时间的扭曲可能源于记忆或决策阶段。若两种情况下均产生运动效应,且效应大小不随标准时距改变而变化,则说明效应的产生与内部时钟模型中时钟开关闭合的潜伏期有关;反之,则说明是因为起搏器脉冲发放速度的变化^[66]。因此,在研究运动对时距知觉的影响过程中,也需要谨慎采用不同的时距知觉研究范式,并针对不同范式涉及认知过程的差异对结果提出合理的解释。

7.3 运动状态下时距知觉过程的神经机制

由于受到传统脑电装置和磁共振扫描仪的限制,人们很难在运动条件下检验大脑的脑区活动^[67]。在未来的研究中,可以尝试使用便携式脑电设备探究运动状态下时间知觉过程涉及的脑区激

活时间进程;考虑到近红外光谱成像技术(fNIRS)对身体运动的低敏感性和便携性,还可以尝试使用fNIRS探究运动状态下时距加工激活脑区的差异及联结情况。我们期待通过探究时距扭曲以及时距知觉准确性等如何受到神经机制的调制,在行为学结果和脑成像结果之间建立桥梁,从而更好地揭示运动对时距知觉影响的认知与神经机制。

7.4 竞技运动中的时距知觉研究

尽管在心理学领域,时间知觉已经有着丰富的研究积累,但在运动领域,这方面的研究还有很多值得探索的地方。通过本文可以了解到,运动过程本身可能导致时距扭曲现象,影响运动员时距判断和估计。在应用层面,为了提高竞技运动员的时距知觉精确性与稳定性,提升对运动中不同节奏的适应性,未来研究可以着力于探索不同专项运动对时距知觉是否存在不同要求,对时距扭曲范围的容忍度高低是否存在实质性差异。针对不同专项、不同级别的运动员,要通过实证研究分析运动员在训练或比赛过程中造成时距知觉误差的原因,寻找提高时距知觉能力的方法与手段,为竞技运动提供更多指导性意见和服务。

参 考 文 献

- [1] Thones S, Stocker K. A standard conceptual framework for the study of subjective time. *Consciousness and Cognition*, 2019, **71**: 114-122
- [2] Buonomano D V, Karmarkar U R. How do we tell time. *The Neuroscientist*, 2002, **8**(1): 42-51
- [3] Chen Y H, Cesari P. Elite athletes refine their internal clocks. *Motor Control*, 2015, **19**(1): 90-101
- [4] Imaizumi S, Asai T. My action lasts longer: potential link between subjective time and agency during voluntary action. *Consciousness and Cognition*, 2017, **51**: 243-257
- [5] Wiener M, Zhou W, Bader F, *et al.* Movement improves the quality of temporal perception and decision-making. *eNeuro*, 2019, **6**(4): ENEURO.0042-19
- [6] Iwasaki M, Tomita K, Noguchi Y. Non-uniform transformation of subjective time during action preparation. *Cognition*, 2017, **160**: 51-61
- [7] Tomassini A, Gori M, Baudbovy G, *et al.* Motor commands induce time compression for tactile stimuli. *The Journal of Neuroscience*, 2014, **34**(27): 9164-9172
- [8] Edwards A M, McCormick A. Time perception, pacing and exercise intensity: maximal exercise distorts the perception of time. *Physiology & Behavior*, 2017, **180**: 98-102
- [9] Tomassini A, Morrone M C. Perceived visual time depends on motor preparation and direction of hand movements. *Scientific Reports*, 2016, **6**(1): 27947-27947

- [10] Yokosaka T, Kuroki S, Nishida S, *et al.* Apparent time interval of visual stimuli is compressed during fast hand movement. *Plos One*, 2015, **10**(4): e0124901
- [11] Yon D, Edey R, Ivry R B, *et al.* Time on your hands: perceived duration of sensory events is biased toward concurrent actions. *J Exp Psychol Gen*, 2017, **146**(2): 182-193
- [12] Merchant H, Yarrow K. How the motor system both encodes and influences our sense of time. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 2016, **8**: 22-27
- [13] Wang L, Jiang Y. Life motion signals lengthen perceived temporal duration. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2012, **109**(11): E673-E677
- [14] Morrone M C, Ross J, Burr D C. Saccadic eye movements cause compression of time as well as space. *Nature Neuroscience*, 2005, **8**(7): 950-954
- [15] Hagura N, Kanai R, Orgs G, *et al.* Ready steady slow: action preparation slows the subjective passage of time. *Proc Biol Sci*, 2012, **279**(1746): 4399-4406
- [16] Vicario C M, Pecoraro P, Turriziani P, *et al.* Relativistic compression and expansion of experiential time in the left and right space. *Plos One*, 2008, **3**(3): e1716
- [17] Nunez R, Cooperrider K. The tangle of space and time in human cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 2013, **17**(5): 220-229
- [18] Behm D G, Carter T B. Effect of exercise-related factors on the perception of time. *Frontiers in Physiology*, 2020, **11**: 770
- [19] Iwasaki M, Noguchi Y, Kakigi R. Neural correlates of time distortion in a preaction period. *Human Brain Mapping*, 2019, **40**(3): 804-817
- [20] Gutteling T P, Petridou N, Dumoulin S O, *et al.* Action preparation shapes processing in early visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 2015, **35**(16): 6472-6480
- [21] Kaneko S, Murakami I. Perceived duration of visual motion increases with speed. *Journal of Vision*, 2009, **9**(7): 14
- [22] Kanai R, Paffen C L E, Hogendoorn H, *et al.* Time dilation in dynamic visual display. *Journal of Vision*, 2006, **6**(12): 1421-1430
- [23] Tse P U, Intriligator J, Rivest J, *et al.* Attention and the subjective expansion of time. *Attention Perception & Psychophysics*, 2004, **66**(7): 1171-1189
- [24] Shi J, Weng X, He S, *et al.* Biological motion cues trigger reflexive attentional orienting. *Cognition*, 2010, **117**(3): 348-354
- [25] 蒋毅, 王莉. 生物运动加工特异性: 整体结构和局部运动的作用. *心理科学进展*, 2011, **19**(3): 301-311
Jiang Y, Wang L. *Advances in Psychological Science*, 2011, **19**(3): 301-311
- [26] Jia L, Shi Z, Zang X, *et al.* Watching a real moving object expands tactile duration: the role of task-irrelevant action context for subjective time. *Attention Perception & Psychophysics*, 2015, **77**(8): 2768-2780
- [27] Gibbon J, Church R M, Meck W H. Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1984, **423**(1): 52-77
- [28] Zakay D, Block R A. Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 1997, **6**(1): 12-16
- [29] Winawer J, Huk A C, Boroditsky L. A motion aftereffect from still photographs depicting motion. *Psychological Science*, 2008, **19**(3): 276-283
- [30] Moscatelli A, Polito L, Lacquaniti F. Time perception of action photographs is more precise than that of still photographs. *Experimental Brain Research*, 2011, **210**(1): 25-32
- [31] Nather F C, Bueno J L, Bigand E, *et al.* Time changes with the embodiment of another's body posture. *Plos One*, 2011, **6**(5): e19818
- [32] Yamamoto K, Miura K. Time dilation caused by static images with implied motion. *Experimental Brain Research*, 2012, **223**(2): 311-319
- [33] 张森, 吴迪, 李明, 等. 主动控制感的测量及认知神经机制. *心理科学进展*, 2018, **26**(10): 1787-1793
Zhang M, Wu D, Li M, *et al.* *Advances in Psychological Science*, 2018, **26**(10): 1787-1793
- [34] Tomassini A, Gori M, Burr D C, *et al.* Active movement restores veridical event-timing after tactile adaptation. *Journal of Neurophysiology*, 2012, **108**(8): 2092-2100
- [35] Murgia M, Prpic V, Jenny O, *et al.* Modality and perceptual-motor experience influence the detection of temporal deviations in tap dance sequences. *Frontiers in Psychology*, 2017, **8**: 1340
- [36] Jia B, Zhang Z, Feng T. Sports experts' unique perception of time duration based on the processing principle of an integrated model of timing. *PeerJ*, 2020, **8**: e8707
- [37] 陈有国, 彭春花, 张志杰, 等. 自动与控制计时系统脑机制研究. *西南大学学报(社会科学版)*, 2008, **34**(4): 9-14
Chen Y G, Peng C H, Zhang Z J, *et al.* *Journal of Southwest University (Social Sciences Edition)*, 2008, **34**(4): 9-14
- [38] Mita A, Mushiaki H, Shima K, *et al.* Interval time coding by neurons in the presupplementary and supplementary motor areas. *Nature Neuroscience*, 2009, **12**(4): 502-507
- [39] Wiener M, Thompson J C. Repetition enhancement and memory effects for duration. *NeuroImage*, 2015, **113**: 268-278
- [40] Macar F, Vidal F. Event-related potentials as indices of time processing: a review. *Journal of Psychophysiology*, 2004, **18**: 89-104
- [41] 张志杰, 尹华站, 黄希庭. 时间知觉和关联负变化. *心理科学进展*, 2007, **15**(2): 308-312
Zhi Z J, Yin H Z, Huang X T. *Advances in Psychological Science*, 2007, **15**(2): 308-312
- [42] Casini L, Vidal F. The SMAs: neural substrate of the temporal accumulator?. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 2011, **5**: 35-35
- [43] Pouthas V, Garnero L, Ferrandez A M, *et al.* ERPs and PET analysis of time perception: spatial and temporal brain mapping during visual discrimination tasks. *Human Brain Mapping*, 2000, **10**(2): 49-60
- [44] Baker S N. Oscillatory interactions between sensorimotor cortex and the periphery. *Current Opinion in Neurobiology*, 2007, **17**(6): 649-655
- [45] Wiener M, Parikh A, Krakow A, *et al.* An intrinsic role of beta oscillations in memory for time estimation. *Scientific Reports*,

- 2018, **8**(1): 7992
- [46] Wiener M, Kanai R. Frequency tuning for temporal perception and prediction. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 2016, **8**: 1-6
- [47] Buhusi C V, Meck W H. What makes us tick?. Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2005, **6**: 755-765
- [48] Nagai Y, Critchley H D, Featherstone E, *et al.* Brain activity relating to the contingent negative variation: an fMRI investigation. *NeuroImage*, 2004, **21**: 1232-1241
- [49] Breska A, Ivry R B. Double dissociation of single-interval and rhythmic temporal prediction in cerebellar degeneration and parkinson's disease. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, **115**(48): 12283-12288
- [50] Ivry R B, Spencer R M. The neural representation of time. *Current Opinion in Neurobiology*, 2004, **14**: 225-232
- [51] Ohmae S, Kunimatsu J, Tanaka M. Cerebellar roles in self-timing for sub-and supra-second intervals. *Journal of Neuroscience*, 2017, **37**(13): 3511-3522
- [52] Kunimatsu J, Suzuki T W, Ohmae S, *et al.* Different contributions of preparatory activity in the basal ganglia and cerebellum for self-timing. *Elife*, 2018, **7**: e35676
- [53] Kameda M, Ohmae S, Tanaka M. Entrained neuronal activity to periodic visual stimuli in the primate striatum compared with the cerebellum. *Elife*, 2019, **8**: e48702
- [54] Narain D, Remington E D, De Zeeuw C I, *et al.* A cerebellar mechanism for learning prior distributions of time intervals. *Nature Communications*, 2018, **9**(1): 469
- [55] Matthews W, Meck W H. Temporal cognition: connecting subjective time to perception, attention, and memory. *Psychological Bulletin*, 2016, **142**(8): 865-907
- [56] Press C, Berlot E, Bird G, *et al.* Moving time: the influence of action on duration perception. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2014, **143**(5): 1787-1793
- [57] Fayolle S, Lamotte M, Droit-Volet S, *et al.* Time, emotion and the embodiment of timing. *Timing & Time Perception*, 2013, **1**(1): 99-126
- [58] Wittmann M. The inner sense of time: how the brain creates a representation of duration. *Nature Reviews Neuroscience*, 2013, **14**(3): 217-223
- [59] Wittmann M, Simmons A N, Aron J L, *et al.* Accumulation of neural activity in the posterior insula encodes the passage of time. *Neuropsychologia*, 2010, **48**(10): 3110-3120
- [60] Vercruyssen M, Hancock P A, Mihaly T. Time estimation performance before, during, and following physical activity. *Journal of Human Ergology*, 1989, **18**(2): 169-179
- [61] Lambourne K. The effects of acute exercise on temporal generalization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2012, **65**(3): 526-540
- [62] Hayashi M J, Kantele M, Walsh V, *et al.* Dissociable neuroanatomical correlates of subsecond and suprasecond time perception. *J Cogn Neurosci*, 2014, **26**(8): 1685-1693
- [63] Block R A, Grondin S, Zakay D. Prospective and retrospective timing processes: theories, methods, and findings. Brill. 2018: **32**: 47-66
- [64] Matthews W J, Meck W H. Time perception: the bad news and the good. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2014, **5**(4): 429-446
- [65] Bannier D, Wearden J, Le Dantec C C, *et al.* Differences in the temporal processing between identification and categorization of durations: a behavioral and ERP study. *Behavioural Brain Research*, 2019, **356**: 197-203
- [66] Rammsayer T, Verner M. Larger visual stimuli are perceived to last longer from time to time: the internal clock is not affected by nontemporal visual stimulus size. *Journal of Vision*, 2015, **15**(3): 5
- [67] Scanlon J E M, Sieben A J, Holyk K R, *et al.* Your brain on bikes: P3, MMN/N2b, and baseline noise while pedaling a stationary bike. *Psychophysiology*, 2017, **54**(6): 927-937

Effects of Movement on Duration Perception and The Neural Mechanism*

ZHENG Wei-Qi**, ZHANG Yi-Chen, MA Jia-Xin, ZHAO Han, REN Zi-Yuan, ZHANG Yu**

(School of Psychology, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract Duration perception is important during movement, as it can help people judge the duration of events and make better predictions and preparations. In recent years, a growing number of studies have found that duration distortion in movement is influenced by motion itself. The current paper summarized the behavioral evidence of the effects of movement on duration perception from four aspects, including movement parameters, movement stages, visual motion stimuli and motion-related individual factors. Currently, extensive research has proven that motor brain structures may serve as the core neural network of subjective temporal perception. The motor system both encodes and is involved in duration perception. The theory of how movement influences duration perception can be based on the framework of the internal clock model and can be further explained by sensorimotor interference, arousal induced by the action or embodied cognition. Future research needs to consider the effects of movement on duration perception on different time scales, as well as the study paradigms and technical approaches during movement, which can better reveal how movement regulates duration perception and the internal neural mechanism. Further, according to the features of different competitive sports, future research should provide help and guidance on reducing duration perception errors in sports and enhancing the duration perception abilities of athletes.

Key words body action, motion stimuli, duration perception, motor system, neural mechanism

DOI: 10.16476/j.pibb.2020.0319

* This work was supported by grants from Youth Foundation of Humanity and Social Science of Ministry of Education of China (20YJC890049) and Fundamental Research Funds for the Central Universities of China (2019QD012).

** Corresponding author.

ZHENG Wei-Qi. Tel: 86-13261725159, E-mail: zhengweiqi@bsu.edu.cn

ZHANG Yu. Tel: 86-13520059273, E-mail: btzy1973@126.com

Received: September 2, 2020 Accepted: December 29, 2020